



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACION

Tesis monográfica para optar al título de Ingeniero Eléctrico

Título

"Evaluación técnico-económica para calcular el costo de venta para la generación de la energía eléctrica de una pequeña central hidroeléctricas(mini-centrales), implementada en Nicaragua."

Autor:

Br. José Rodolfo Ruiz Galo. carnet 2014-1207U

Tutor:

Msc. Ing. Alejandro Hernández Solís.

Managua, Nicaragua, febrero de 2023



**"Evaluación técnico-económica para calcular el costo de venta
para la generación de la energía eléctrica de una pequeña central
hidroeléctricas(mini-centrales), implementada en Nicaragua "**



"Evaluación técnico-económica para calcular el costo de venta para la generación de la energía eléctrica de una pequeña central hidroeléctricas(mini-centrales), implementada en Nicaragua "

Resumen

La presente tesis: "Evaluación técnico-económica para calcular el costo de venta para la generación de la energía eléctrica de una pequeña central hidroeléctricas(mini-centrales), implementada en Nicaragua ", se basa en un proceso investigativo y analítico, para llegar a establecer un costo económico de producción, que marque la referencia como costo de venta y pueda ser utilizada en los contratos de conexión y despacho de energía.

El establecimiento la evaluación técnico-económica y la determinación del precio de venta de la energía generada por una pequeña central hidroeléctrica, está basado en un modelo real de una mini-central hidroeléctrica de Nicaragua, pero puede ser utilizado en cualquier otra central hidroeléctrica, ya que la determinación del costo de venta está basada en la evaluación financiera y técnica, considerando los costos fijos y variables asociados a estas mini-centrales.

Este proyecto se creó con el fin de desarrollar de forma particular para la evaluación del precio de venta de la energía de micro-centrales hidroeléctricas de Nicaragua, una secuencia de evaluación técnico-económica, los cuales creemos pueden ser aplicables a cualquier proyecto de esta índole.



índice de contenido

Introducción	1
Antecedentes	4
Justificación	6
Objetivos	7
I. Marco Teórico	9
I.1 Definición de central hidroeléctrica:.....	10
I.1.1 Componentes de una central hidroeléctrica;.....	10
I.1.1.1 La capacidad de producción de energía de una central hidroeléctrica;.11	
I.1.1.1.1 Factores que afectan en precio final de la energía de una central hidroeléctrica:.....	12
Hipótesis y variables	13
Metodología de desarrollo de la investigación	14
Capítulo 1.- Principio de funcionamiento de una central hidroeléctrica y parámetros de diseño.	15
1.1 Conceptos	16
1.2 Potencia instalada.	16
1.3 Factor de Planta:	17
1.4 Factor de carga.	17
1.5 Factor de demanda	18
1.6 Factor de instalación	18
1.7 Tiempo de Utilización	19
1.8 Factor de utilización.....	19
1.9 Factor de reserva.	20
1.10 Factor de disponibilidad.....	21
Capítulo 2.- Políticas energéticas de Nicaragua en materia de centrales hidroeléctricas.	26
2.1 Ley de promoción del sector hidroeléctrico.	27
2.2 La matriz energética de Nicaragua.....	28



"Evaluación técnico-económica para calcular el costo de venta para la generación de la energía eléctrica de una pequeña central hidroeléctricas(mini-centrales), implementada en Nicaragua "

2.3	Detalle de inversiones en proyectos hidroeléctricos.....	29
2.4	Generación de energía por tipo de fuentes primarias.....	30
Capítulo 3.- Los costos asociados a un proyecto hidroeléctrico y la evaluación técnico-financiera.		31
3.1	Costos asociados a un proyecto hidroeléctrico.	32
3.2	Detalle general de los costos fijos de inversión de un proyecto hidroeléctrico.....	34
3.3	Esquema del modelo de evaluación financiera de un proyecto hidroeléctrico.....	35
3.4	Aspectos técnicos considerados en un proyecto hidroeléctrico.	36
Capítulo 4.- Costo nivelado para calcular el costo de venta de la energía de una mini-central hidroeléctrica.		37
4.1	Costo Nivelado.....	38
4.2	Cálculo de los costos totales por MWh.....	39
4.3	Conversión del costo de inversión por capacidad de potencia a un costo por hora.....	39
Capítulo 5.-		41
Selección de las dos mini-centrales hidroeléctricas y determinación del costo de venta de la energía.....		41
5.1	La selección de las dos mini-centrales hidroeléctricas.....	42
5.2	Datos técnico-financiero de la mini-central hidroeléctrica La Florida.....	42
5.3	Cálculo del costo de venta de la energía de la mini-central hidroeléctrica La Florida.	43
5.4	Datos técnico-financiero de la mini-central hidroeléctrica Río Tuma.....	47
5.5	Cálculo del costo de venta de la energía de la mini-central hidroeléctrica Río Tuma.	47
Capítulo 6.-.....		51
Resultados obtenidos de la investigación, para el establecimiento del costo de venta de la energía de una mini-central hidroeléctrica.....		51
6.1	Resultados de la investigación.	52
Conclusiones y Recomendaciones.....		53



**"Evaluación técnico-económica para calcular el costo de venta
para la generación de la energía eléctrica de una pequeña central
hidroeléctricas(mini-centrales), implementada en Nicaragua "**

Conclusiones.....	53
Recomendaciones.....	55
Bibliografía.....	56



"Evaluación técnico-económica para calcular el costo de venta para la generación de la energía eléctrica de una pequeña central hidroeléctricas(mini-centrales), implementada en Nicaragua "

Dedicatoria

El presente trabajo investigativo lo dedico primeramente a Dios quien me dio la sabiduría y fuerza necesaria para culminar esta carrera con éxito, a mis padres, que me han apoyado siempre brindándome sus consejo y apoyo económico para ser una persona de bien, a mi esposa, que me a apoyado de una forma incondicional, que con su amor y paciencia ha sido un motor de empuje en mi vida.



**"Evaluación técnico-económica para calcular el costo de venta
para la generación de la energía eléctrica de una pequeña central
hidroeléctricas(mini-centrales), implementada en Nicaragua "**



Introducción

La generación de energía eléctrica en zonas aisladas es una práctica muy común de ingeniería a fin de dar respuesta a la población que demanda energía eléctrica en zonas donde no penetran las redes de distribución de Nicaragua y en algunos casos donde por principio las empresas distribuidoras de electricidad no incluyeron las ampliaciones de sus redes por considerarlas poco rentables en esos sitios. Como una iniciativa del gobierno de Nicaragua ante esta problemática se impulsa un programa de gobierno durante el período 2008-2012, siendo este el Programa de Desarrollo Humano para apoyar la reducción de la pobreza, que consistía en la integración de pequeñas centrales hidroeléctricas en zonas rurales del país. Evolutivamente se fueron integrando muchos proyectos de pequeñas centrales hidroeléctricas entre las que podemos mencionar: ATDR-El Bote, Tichaná, La Florida, etc.

Cabe mencionar que Nicaragua es un país con muchos recursos naturales y gran potencial hidroeléctrico, por lo cual el Gobierno de Nicaragua implementó en primera instancia durante el período 2008-2012, el aprovechamiento de los recursos renovables de hidroelectricidad, solar, eólica, geotérmica y biomasa, con la participación adicional de la cooperación internacional y la empresa privada.

Como Entidad del Gobierno rectora del desarrollo para pequeñas centrales hidroeléctrica fue designado por el Gobierno El Ministerio de Energía y Minas que, con apoyo del Banco Mundial, empezó a desarrollar el Programa Electrificación Rural en Zonas Aisladas (PERZA), el cual tenía proyectado finalizar a finales del año 2009 y que fue extendido hasta el año 2010. Dicho programa contribuyó al

¹ Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD:
https://info.undp.org/docs/pdc/Documents/NIC/00059154_ProDoc%2000073889.pdf



"Evaluación técnico-económica para calcular el costo de venta para la generación de la energía eléctrica de una pequeña central hidroeléctricas(mini-centrales), implementada en Nicaragua "

desarrollo de las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH) y a las extensiones de redes en zonas aisladas.

Algunos proyectos de pequeñas centrales hidroeléctricas pueden verse en la siguiente tabla:

Tabla 1 Desarrollo de pequeñas centrales hidroeléctricas Nic.

Nombre de PCH	Municipio/ Departamento	Año ejecución	Potencia (Kw)	No. De Viviendas Beneficiadas
El Corozo	Matiguás/Matagalpa	2013-2014	300	485
El Golfo	El Cuá/Jinotega	2012-2013	230	300
Casa Quemada	Pantasma/Jinotega	2010	425	1,000
Salto El Humo	Camoapa/Boaco	2012	200	180
Salto Labú	Siuna/RAAN	2011	210	280
Salto Pataka	Siuna/RAAN	2012	120	200
El Hormiguero	Siuna/RAAN	2012	250	400
Salto Putunka	Siuna/RAAN	2010-2011	600	2,960
Tunky Ditch	Bonanza/RAAN	2014	160	590
Ayapal	Bocay/Jinotega	2013-2014	200	800
Total US\$			2,695	7,195

Fuente:

PNUD: https://info.undp.org/docs/pdc/Documents/NIC/00059154_ProDoc%2000073889.pdf

Un aspecto relevante es que a pesar de que el Ministerio de Energías y Minas, es quien regula las concesiones de licencia de generación no expresa de manera explícita ningún procedimiento para el cálculo de los costos de producción de la energía para estas pequeñas centrales hidroeléctricas(mini-centrales).

Si revisamos el Anexo técnico de la solicitud de licencia de Generación, emitida por el Ministerio de Energías y Minas de Nicaragua, MEM, vemos que no existe ningún apartado referido a los cálculos del costo de la energía generada por una pequeña central hidroeléctrica(mini-central).



"Evaluación técnico-económica para calcular el costo de venta para la generación de la energía eléctrica de una pequeña central hidroeléctricas(mini-centrales), implementada en Nicaragua "

La importancia de la determinación de los costos por kWh para una pequeña central de generación hidroeléctrica(mini-central), radica en que ésta forma parte de la cadena de abastecimiento del servicio eléctrico y se requiere la optimización de los criterios técnico-económicos para la sostenibilidad de todo proyecto, en este caso para una pequeña central hidroeléctrica y su equidad en el precio final de venta a los usuarios finales. Otro aspecto fundamental se refiere al valor agregado del aporte de los criterios técnico-económico para calcular el costo de venta de la energía de una pequeña central hidroeléctrica, que serán de utilidad para estudiantes de la carrera de ingeniería Eléctrica u otros investigadores o proyectistas relacionados a este tema.



"Evaluación técnico-económica para calcular el costo de venta para la generación de la energía eléctrica de una pequeña central hidroeléctricas(mini-centrales), implementada en Nicaragua "

Antecedentes

En el año 2014, según datos del Ministerio de Energía y Minas de Nicaragua (MEN), la generación de energía renovable alcanzó 52.43 por ciento y para el año 2016 fue de un 64 por ciento de la energía eléctrica con fuentes renovables, mientras que para el año 2020 la proyección era alcanzar un 86 por ciento.

Nicaragua ha duplicado la cobertura eléctrica en los últimos años supliendo electricidad a más del ochenta por ciento del territorio nacional y generando más de la mitad de su matriz energética a partir de fuentes renovables, según el MEM.

En Nicaragua se han desarrollado muchos proyectos hidroeléctricos de pequeñas centrales hidroeléctricas, adoptando las regulaciones normativas del Ministerio de Energías y Minas de Nicaragua(MEN), que como se refiere en la Normativa de Licencias y Concesiones, regula aspectos técnicos, pero no contempla de forma explícita cual es el procedimiento de cálculo del costo para la generación de la energía eléctrica para pequeñas centrales hidroeléctricas(mini-centrales), para conocer los criterios empleados en su determinación y si este costo ha sido calculado bajo criterios técnicos y económicos mediante un análisis de variables importantes como el precio, costos de construcción y precio final de venta de la energía, y determinar además sí es conveniente o no invertir en el proyecto.

De tal forma que la información presentada por los solicitantes de licencias de Generación en lo referido al cálculo del costo de venta de la energía presenta una carencia del procedimiento de cálculo del costo para la generación de la energía eléctrica.

Por lo tanto, esta investigación aporta mediante la aplicación de conocimientos y competencias de la carrera de ingeniería eléctrica uno de los procedimiento de cálculo del costo para la generación de la energía eléctrica para pequeñas centrales hidroeléctricas(mini-centrales), utilizando criterios de evaluación técnicos-económicos mediante un análisis de variables importantes como los costos de construcción y precio final de venta de la energía, y determinar además sí es



"Evaluación técnico-económica para calcular el costo de venta para la generación de la energía eléctrica de una pequeña central hidroeléctricas(mini-centrales), implementada en Nicaragua "

conveniente o no invertir en el proyecto, optimizando no sólo los recursos técnicos, sino además los recursos económicos.



"Evaluación técnico-económica para calcular el costo de venta para la generación de la energía eléctrica de una pequeña central hidroeléctricas(mini-centrales), implementada en Nicaragua "

Justificación

La generación de energía eléctrica como primera actividad en la cadena de abastecimiento de todo sistema eléctrico requiere de un establecimiento de su costo por kwh de generación. Un aspecto relevante primordial que determina para toda pequeña central hidroeléctrica, su sostenibilidad económica.

De tal forma que los costos de generación son la base fundamental para la fijación o formación de precios en cualquier mercado eficiente y en cualquier actividad económica y financieramente sostenible. Por lo tanto se desea aportar con esta investigación, mediante la aplicación de conocimientos y competencias de la carrera de ingeniería eléctrica uno de los procedimientos de cálculo del costo para la generación de la energía eléctrica para pequeñas centrales hidroeléctricas(mini-centrales), utilizando criterios de evaluación técnicos-económicos mediante un análisis de variables importantes como los costos de construcción y precio final de venta de la energía, y determinar además si es conveniente o no invertir en el proyecto, optimizando no sólo los recursos técnicos, sino además los recursos económicos.

En esta investigación aplicamos un procedimiento para calcular el costo de venta de la energía eléctrica para una mini central hidroeléctrica, utilizando criterios de evaluación técnicos-económicos, aplicados a las variables de: costos de construcción y variables que afectan el precio final de venta de la energía, obtenidos de acuerdo a las referencias bibliográficas indicadas a lo largo del desarrollo de la tesis.

El aporte investigativo de esta tesis estaría disponible para los estudiantes o profesionales de la carrera de ingeniería eléctrica.

Se considera que los resultados de esta investigación serán significativos porque incorporarán un enfoque técnico-económico para calcular el costo de venta de la energía de una pequeña central hidroeléctrica.



Objetivos

Objetivo General:

- Calcular el costo de la energía producida para una mini-central hidroeléctrica, utilizando criterios técnicos-económicos, mediante un análisis de variables importantes como los costos de construcción, valor de reposición de su infraestructura de red eléctrica y precio final de venta de la energía, y determinar si es conveniente o no invertir en el proyecto, optimizando no sólo los recursos técnicos, sino además los recursos económicos.

Objetivos específicos:

- Estudiar al menos dos modelos implementados en Nicaragua de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas para determinar los factores que inciden en la determinación del costo de venta de la energía, los cuales puedan ser evaluados bajos criterios técnicos-económicos para su optimización. Estos modelos se obtendrán a partir de otras tesis elaboradas y/o de bases de datos de la página web del Ministerio de Energías y Minas de Nicaragua, con información pública contenida en la red digital.
- Evaluar los criterios técnicos y económicos de las variables que determinan el costo de venta de la energía, tales como los costos de inversión de construcción de obras y demanda de energía. Desarrollando una hoja de cálculo EXCEL, para su evaluación.
- Determinar los criterios de optimización de costos para el precio final de venta de la energía.



"Evaluación técnico-económica para calcular el costo de venta para la generación de la energía eléctrica de una pequeña central hidroeléctricas(mini-centrales), implementada en Nicaragua "

- Validar la formulación de la estructura de costos implementada en Excel, para verificar el cumplimiento de los criterios técnicos-económicos, con al menos dos proyectos implementados en Nicaragua, en los cinco últimos años a partir del año 2000. Se analizarán y evaluarán los siguientes factores que determinan el costo de la energía producida como son:
 - La capacidad instalada de la mini-central.
 - El tipo de tecnología implementada.
 - Los costos fijos y variables.
 - La tasa de rentabilidad, entre otros.



I. Marco Teórico

Nicaragua es un país especialmente privilegiado en cuanto a recursos hídricos, cuenta con 38,668 m³ /cápita/año (FAO-Aquastat, 2003), lo que posiciona al país por encima del promedio para los países de Centroamérica. A pesar de ello, la contaminación de los recursos hídricos superficiales y subterráneos ha tenido un gran impacto en la disponibilidad. Es por ello que se considera que Nicaragua tiene escasez económica de agua (International Water Management Institute, 2007), debido, por un lado, a la falta de recursos financieros para utilizar y mantener las fuentes de agua con calidad adecuada para consumo humano, y por otro, a los problemas de gobernanza para la buena gestión integral del recurso. Frente a ello, en la última década, el país ha iniciado actividades para establecer una política y legislación apropiadas para la gestión integral del agua. Además, ha destacado en el inicio de la formación de profesionales con capacidades específicas para administrar el recurso (CEPAL, 2003).

Con la Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales de Nicaragua (Ley 217), puesta en vigencia en 1996, se inicia la introducción de una legislación dirigida a proteger los recursos hídricos de una manera más integral.

La Política Nacional de los Recursos Hídricos (Gaceta, 2001) se basa en una gestión por cuencas hidrográficas como fundamento para el manejo integrado del recurso agua en Nicaragua. Además, establece la importancia de que el agua sea un patrimonio nacional de dominio público para satisfacer las necesidades básicas de la población respetando los principios de equidad social y de género. La Política prevé el impacto del cambio climático al establecer en su Art.2 "Son objetivos de la Política Nacional de los Recursos Hídricos el uso y manejo integrado de los recursos hídricos en correspondencia con los requerimientos sociales y económicos del desarrollo y acorde con la capacidad de los



"Evaluación técnico-económica para calcular el costo de venta para la generación de la energía eléctrica de una pequeña central hidroeléctrica (mini-centrales), implementada en Nicaragua "

ecosistemas, en beneficio de las generaciones presentes y futuras, así como la prevención de los desastres naturales causados por eventos hidrológicos extremos."

I.I Definición de central hidroeléctrica:

Una central hidroeléctrica aprovecha las masas de agua en movimiento que circulan por los ríos para transformarlas en energía eléctrica renovable. Para ello, utiliza turbinas acopladas a los alternadores. Según la potencia instalada, las centrales hidroeléctricas pueden ser (ENDESA, 2021):

1. Centrales hidroeléctricas de gran potencia: más de 10MW de potencia eléctrica.
2. Minicentrales hidroeléctricas: entre 1MW y 10MW.
3. Microcentrales hidroeléctricas: menos de 1MW de potencia.

I.I.I Componentes de una central hidroeléctrica;

Los principales elementos son:

- a) La presa. Responsable de contener el agua de un río y almacenarla en un embalse.
- b) Rebosaderos. Elementos que permiten liberar parte del agua retenida sin que pase por la sala de máquinas.
- c) Destruidores de energía. Reducen la energía del agua para evitar erosiones en el terreno o sobrecarga. Los dos tipos principales son:
- d) Los dientes o prismas de cemento. Provocan un aumento de la turbulencia y de los remolinos.
- e) Los deflectores de salto de esquí. Disipan la energía haciendo aumentar la fricción del agua con el aire y a través del choque con el colchón de agua que encuentra a su caída.



"Evaluación técnico-económica para calcular el costo de venta para la generación de la energía eléctrica de una pequeña central hidroeléctricas(mini-centrales), implementada en Nicaragua "

- f) Sala de máquinas. Construcción donde se sitúan las máquinas (turbinas, alternadores...) y elementos de regulación y control de la central.
- g) Turbina. Transforman la energía cinética de una corriente de agua en energía mecánica.
- h) Alternador. Tipo de generador eléctrico que transforma la energía mecánica en eléctrica.

I.I.I.I La capacidad de producción de energía de una central hidroeléctrica;

La capacidad de generación de una central hidroeléctrica es proporcional a la masa y caída de agua, es decir que entre más grande es el flujo de agua y la altura desde donde inicia su desplazamiento hacia el cuarto de máquinas, mayor será la capacidad generadora.

En la producción de energía hidroeléctrica intervienen varios factores, entre los que destacan el caudal de los ríos y el tipo de relieve geográfico, es lógico que países de gran tamaño que cuentan con largos y caudalosos ríos suelen estar entre los principales productores mundiales.

Nicaragua ha venido aumentando la producción de energía eléctrica en pequeños sistemas aislados debido al permanente crecimiento poblacional.

Antes de llegar al usuario final el precio de la energía eléctrica se ve afectado por diferentes factores tanto en generación, transmisión y distribución.



I.I.I.I.I Factores que afectan en precio final de la energía de una central hidroeléctrica:

Uno de los principales factores determinantes en el precio de la energía eléctrica se encuentra en la generación, con qué tipo de fuente primaria se genera. Los costos a considerar para la determinación del precio final de venta de la energía se dividen en costos fijos que dependen de la potencia instalada y costos variables que cambian de acuerdo a la energía producida.

Los costos fijos son los gastos que una empresa debe pagar independientemente de su nivel de operación. Es decir, aquellos costos mensuales, bimestrales o anuales que debe cumplir sin importar su número de ventas alcanzadas (Hubspot, 2022).

Se les conoce como fijos porque no varían ante los cambios de la producción de bienes y servicios. Un ejemplo de ellos son el alquiler, los servicios básicos, algunos sueldos o seguros de los trabajadores.

Los costos fijos pueden dividirse en dos categorías:

- Discrecionales. Aquellos que pueden reducirse sin que el nivel producción cambie.
- Comprometidos. Aquellos que no tienen posibilidad de sufrir cambios o modificaciones, ya que la producción podría verse afectada.

Estos costos, como lo mencionamos al inicio, son fundamentales para tu negocio, pues permiten calcular las necesidades de financiación de tu empresa.

El costo variable es el gasto que fluctúa en proporción a la actividad generada por una empresa o, en otros términos, el que depende de las variaciones que afecten a su volumen de negocio.



"Evaluación técnico-económica para calcular el costo de venta para la generación de la energía eléctrica de una pequeña central hidroeléctricas(mini-centrales), implementada en Nicaragua "

Hipótesis y variables

La pregunta de la investigación sería: ¿Cómo lograr que el precio final de venta a los usuarios de la energía generada por una minicentral hidroeléctrica, sea un precio optimizado desde el punto de vista técnico y económico que permita la equidad del precio de consumo real de los consumidores? Para ello, en esta investigación analizamos técnica y económicamente las variables que inciden en el establecimiento del precio final de venta, para optimizar no sólo los recursos de producción, sino además lograr la equidad en el precio final para los usuarios finales.



Metodología de desarrollo de la investigación

Para llegar a establecerse el costo para la generación de la energía de una mini-central hidroeléctrica, aplicando criterios de evaluación técnicos- económicos, que permitan la optimización de los recursos del proyecto y la equidad del precio de venta a los usuarios finales, inicialmente se estudiaron dos modelos implementados en Nicaragua de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, determinando los factores que indiquen en la estructura de costos.

A partir de dichos estudios, se estableció la correlación de las variables que determinan el costo de venta de la energía y se formuló su cálculo. Para luego plasmar estos criterios de las variables en una evaluación técnico-económica implementada en una hoja de cálculo en EXCEL, a fin de establecer la equidad del precio final de venta a los usuarios finales y la optimización de los recursos, basados en un modelo óptimo de empresa modelo-eficiente.

Y finalmente una vez analizados, se procedió elaborar la estructura de costo de venta de la energía para una pequeña central hidroeléctrica.

Debido a lo descrito anteriormente, la investigación que se presenta según su enfoque metodológico, se adscribe a un diseño cualitativo-cuantitativo de carácter aplicado. (Hernandez Sampieri).



Capítulo 1.-

Principio de funcionamiento de una central hidroeléctrica y parámetros de diseño.



1.1 Conceptos

A continuación, se definen algunos conceptos relacionados de manera general con el principio de funcionamiento de una central hidroeléctrica y sus parámetros de diseño (POWER, 2023).

Estos conceptos son:

- a. Potencia instalada.
- b. Factor de planta.
- c. Factor de carga.
- d. Factor de demanda.
- e. Factor de instalación.
- f. Utilización anual.
- g. Factor de utilización.
- h. Factor de reserva.
- i. Factor de disponibilidad

1.2 Potencia instalada.

Es la suma total de las potencias nominales de todos los receptores de energía conectados con la red que alimenta la central. Se la llama también carga instalada.



1.3 Factor de Planta:

Indica cuanto de generación está disponible:

$$\text{Factor de planta} = \frac{\text{Potencia Media}}{\text{Potencia Instalada de generación}} \quad (1)$$

1.4 Factor de carga.

Para tener una medida que indique la naturaleza de la carga instalada, se introduce el denominado factor de carga (m), definido como la relación de la potencia media a la potencia máxima de punta, es decir.

$$m = \frac{\text{Potencia Media kVA}}{\text{Potencia Máxima kVA}} \quad (2)$$

Para una central eléctrica resulta desfavorable que el factor de carga sea pequeño puesto que ello indica que, a pesar de tener que construirse la central para la potencia de punta, potencia máxima (Pmax) no suministra más que un pequeño porcentaje de este valor, de forma que la central desaprovecha durante casi todo el día sus posibilidades, ya que la punta de intensidad solamente se precisa durante breves periodos de tiempo. Cuando la central es de pequeña potencia, para aumentar el valor del carga, lo que se hace es disponer un generador principal, o un grupo de generadores, que cubra los periodos de carga pequeña normal, y uno o varios generadores auxiliares que entran en funcionamiento durante las horas de máxima demanda de energía.

Cuando la central es de gran potencia o se trata de varias centrales que



"Evaluación técnico-económica para calcular el costo de venta para la generación de la energía eléctrica de una pequeña central hidroeléctricas(mini-centrales), implementada en Nicaragua "

trabajan sobre una misma red, se disponen centrales auxiliares cuya misión es, exclusivamente, cubrir la demanda de energía en las horas punta.

1.5 Factor de demanda

El factor de demanda (a), es la relación entre la demanda máxima de un sistema y la potencia instalada, es decir:

$$\text{Factor de demanda} = \frac{\text{Demanda Máxima kVA}}{\text{Potencia Instalada kVA}} \quad (3)$$

Generalmente esta relación oscila entre 0.2 para instalaciones de pequeña potencia y 0.5 para instalaciones de gran potencia.

1.6 Factor de instalación

El factor de instalación (b), está relacionado con el factor de demanda, ya que una central eléctrica determinada, se proyecta para suministrar una demanda determinada. El factor de instalación es la relación entre la potencia total de la central y la potencia conectada a la red alimentada por dicha central, es decir:

$$b = \frac{\text{Potencia Total de la central kVA}}{\text{Potencia Instalada en kVA}} \quad (4)$$

En la práctica el factor de instalación adopta los siguientes valores:



"Evaluación técnico-económica para calcular el costo de venta para la generación de la energía eléctrica de una pequeña central hidroeléctricas(mini-centrales), implementada en Nicaragua "

Tabla 2 Factor de Instalación

Para pequeñas instalaciones (hasta unos 5000 habitantes)	b=0.2 a 0.3
Para poblaciones hasta unos 20.000 habitantes	b=0.3 a 0.35
Para centrales agrícolas	b=0.25 a 0.28
Para grandes centrales	b=0.4 a 0.5

Fuente: Centrales Eléctricas CEAC

Al factor de instalación se le conoce también con el nombre de factor de simultaneidad.

1.7 Tiempo de Utilización

Es el número de horas anuales que debería trabajar la instalación plena carga, para que la energía producida fuese igual a la que la central produce en un año, trabajando a carga variable.

El tiempo de utilización anual se denomina también duración de aprovechamiento y en la práctica, alcanza estos valores:

Tabla 3 Tiempo de Utilización Anual

TIPO DE CENTRAL	Utilización Anual (Tu)
Para suministros a pequeñas ciudades	1200 a 2000 horas
Para suministros a grandes ciudades	2000 a 3500 horas
Para suministros (regionales)	3500 a 5000 horas

Fuente: Centrales Eléctricas CEAC

1.8 Factor de utilización.

El factor de utilización (c), es la relación entre el número de horas de utilización anual y el número total de horas del año.



$$c = \frac{\text{Número de horas de utilización anual}}{\text{Número total de horas del año}} \quad (5)$$

En la práctica para la determinación de la energía suministrada por un central durante un año, podemos adoptar estos valores para el factor de utilización:

Tabla 4 Factor de Utilización

TIPO DE CENTRAL	Factor de Utilización
Para suministros a pequeñas ciudades	c = 0.15 a 0.25
Para suministros a grandes ciudades	c = 0.25 a 0.40
Para suministros (regionales)	c = 0.40 a 0.55

Fuente: Centrales Eléctricas CEAC

1.9 Factor de reserva.

No basta con construir una central para la máxima punta de potencia que aparezca durante el año. Un grupo de generadores puede quedar parado, por avería o por inspección. Por lo tanto, hay que disponer una reserva de máquinas que sustituya a las que han quedado fuera de servicio. Lo que, quiere decir que la potencia total de la central ha de ser mayor que la potencia máxima para la que ha sido proyectada.

Este hecho se expresa por medio del factor de reserva que es la relación entre la potencia total de la central y la potencia máxima que ha de suministrar, o sea:

$$\text{Factor de reserva, } fr = \frac{\text{Potencia Instalada de la central, kW}}{\text{Potencia máxima de la central, kW}} \quad (6)$$



"Evaluación técnico-económica para calcular el costo de venta para la generación de la energía eléctrica de una pequeña central hidroeléctricas(mini-centrales), implementada en Nicaragua "

El factor de reserva es siempre mayor que la unidad y, en la práctica, alcanza estos valores:

Tabla 5 Factor de Reserva

Para pequeñas instalaciones y pueblos	fr=1.3 a 1.6
Para poblaciones medias	fr=1.6 a 1.75
Para centrales agrícolas	fr=1.6 a 1.7
Para grandes ciudades	fr=1.8 a 2.0

Fuente: Centrales Eléctricas CEAC

En muchas ocasiones, no es necesario que cada central tenga su propia reserva. Si varias centrales están interconectadas entre sí, se puede hacer que una de ellas trabaje sin reserva, suponiendo que en caso de avería en sus generadores, la potencia que falta será suministrada por las otras centrales interconectadas.

1.10 Factor de disponibilidad

El factor de disponibilidad es la relación entre la energía que puede generar una instalación (energía disponible) y la energía máxima posible de generar (si funcionara siempre a plena potencia) en el mismo periodo de tiempo, expresada en porcentajes.

La disponibilidad depende de las características propias de un equipo o instalación, y la utilización del contexto en que está inserto.

En términos generales, el funcionamiento de una central hidroeléctrica incluye un elemento de contención, conocido como presa o **dique**, que interrumpe el curso de agua, creando una acumulación que puede ser un depósito o un embalse. Mediante obras de aducción, canales y túneles de derivación, el agua se transporta a la **galería de presión** y, a través de unas **tuberías forzadas**, se dirige



"Evaluación técnico-económica para calcular el costo de venta para la generación de la energía eléctrica de una pequeña central hidroeléctricas(mini-centrales), implementada en Nicaragua "

a las **turbinas hidroeléctricas** gracias al uso de válvulas de entrada (de seguridad) y dispositivos de regulación de caudal (distribuidores), en función de la demanda de energía (POWER, 2023).

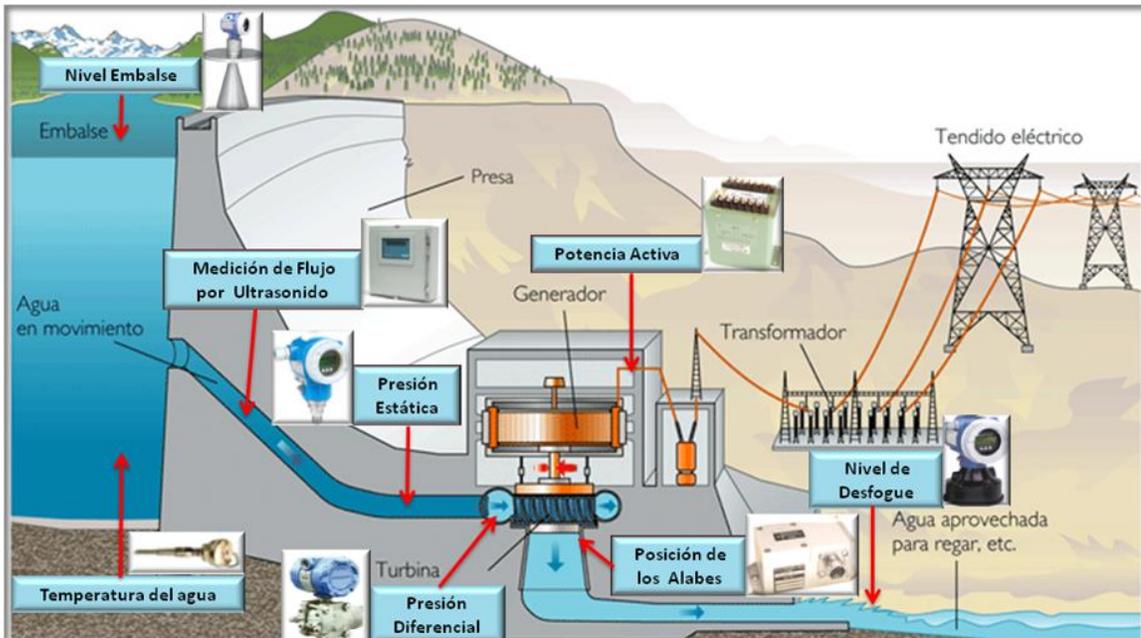
El agua acciona las turbinas, generando energía mecánica, y sale de ellas a un canal de desagüe, a través del cual se devuelve al río. Directamente conectado a la turbina está el generador eléctrico rotativo (alternador), que convierte la energía mecánica recibida por la turbina en energía eléctrica. La electricidad obtenida de esta manera debe transformarse para poder ser transportada a grandes distancias, por lo que, antes de verterla a las líneas de transmisión, la energía eléctrica pasa por el transformador, que reduce la intensidad de la corriente producida por el generador eléctrico rotativo, pero aumenta su voltaje.

En la figura a continuación podemos ver el esquema de principio de una Central Hidroeléctrica.



"Evaluación técnico-económica para calcular el costo de venta para la generación de la energía eléctrica de una pequeña central hidroeléctrica (mini-centrales), implementada en Nicaragua "

Figura 1 Principio de funcionamiento de una central hidroeléctrica



Fuente: <https://sine.ni.com/cms/images/casestudies/figura2hidro.bmp?size>

El agua se considera desde el punto de vista de la electricidad, como la más barata fuente de potencia, y ha servido a la civilización desde los primeros días en la forma de ruedas hidráulicas. Es un recurso natural disponible en las zonas que presentan suficiente cantidad de agua, y una vez utilizada, es devuelta río abajo.

El desarrollo de la central hidroeléctrica requiere construir, presas, canales de derivación, y la instalación de grandes turbinas y equipamiento para generar electricidad. Todo ello implica la inversión de grandes sumas de dinero, por lo que no resulta competitiva en regiones donde el carbón o el petróleo son baratos. Sin embargo, el peso de las consideraciones medioambientales y el bajo mantenimiento que precisan una vez estén en funcionamiento centran la atención en esta fuente de energía



"Evaluación técnico-económica para calcular el costo de venta para la generación de la energía eléctrica de una pequeña central hidroeléctricas(mini-centrales), implementada en Nicaragua "

Las centrales hidroeléctricas según sus características técnicas se pueden clasificar en:

1. Centrales de Agua Fluente.
2. Centrales de agua embalsada:
 - Centrales de Regulación.
 - Centrales de Bombeo.

Según la altura del salto de agua o desnivel existente, se clasifican en :

- a. Centrales de Alta Presión.
- b. Centrales de Media Presión.
- c. Centrales de Baja Presión

Los componentes principales de una central hidroeléctricas son (DeIngenierías, 2022):

1. Presa.
2. Canal de derivación.
3. Tubería de presión.
4. Compuertas.
5. Accionamiento de las compuertas.
6. Órganos de obturación (válvulas)
7. Cámara de turbinas.
8. Tubo de aspiración.
9. Canal de desagüe.
10. Casa de máquinas.

La energía hidroeléctrica en general, y su uso en particular, presenta ciertas ventajas sobre otras fuentes de energía, como son:



"Evaluación técnico-económica para calcular el costo de venta para la generación de la energía eléctrica de una pequeña central hidroeléctricas(mini-centrales), implementada en Nicaragua "

Disponibilidad: Es un recurso inagotable, en tanto en cuanto el ciclo del agua perdure.

"No contamina" (en la proporción que lo hacen el petróleo, carbón, etc.): Nos referimos a que no emite gases "invernadero" ni provoca lluvia ácida, es decir, no contamina la atmósfera, por lo que no hay que emplear costosos métodos que limpien las emisiones de gases



"Evaluación técnico-económica para calcular el costo de venta para la generación de la energía eléctrica de una pequeña central hidroeléctricas(mini-centrales), implementada en Nicaragua "

Capítulo 2.-

Políticas energéticas de Nicaragua en materia de centrales hidroeléctricas.



"Evaluación técnico-económica para calcular el costo de venta para la generación de la energía eléctrica de una pequeña central hidroeléctricas(mini-centrales), implementada en Nicaragua "

En Nicaragua, el órgano regulador de las políticas energéticas es el Ministerio de Energías y Minas, según su definición en su sitio web, este se define como:

“ Tiene la responsabilidad de planificar, coordinar y controlar la formulación e implementación de políticas, normativas y estrategias de fomento, promoción y desarrollo de las actividades de Hidroelectricidad; así como, realizar investigaciones en áreas potenciales de recursos hidroeléctricos y actuar como contraparte técnica en la realización de estudios de pre factibilidad y en la construcción de obras de proyectos hidroeléctricos; asesorar a la Dirección General y demás áreas de la Institución en el ámbito de su competencia; y elaborar informes relativos a su quehacer, asegurando el desarrollo de las actividades del área, de conformidad al marco legal vigente y procedimientos establecidos” (MEM, n.d.).

El Ministerio de Energía y Minas (MEM), se crea en el artículo N°4 de la Ley N° 612 “Ley de Reformas y Adiciones a la Ley N° 290: “Ley de Organización, Competencia y Procedimientos del Poder Ejecutivo”, aprobada el 24 de enero del 2007 y publicada en la Gaceta, Diario Oficial N° 20 del 29/01/2007.

2.1 Ley de promoción del sector hidroeléctrico.

En este caso una de las leyes que promueve el sector hidroeléctrico como competencia del MEM, es la ley No.467, publicada en la gaceta de Nicaragua # e169 del 11 de noviembre de 2020. Esta ley tiene como objeto la promoción de la generación de la energía eléctrica, utilizando fuentes hidráulicas bajo el marco de aprovechamiento de los recursos hídricos de nuestro país.

Dentro de los beneficios de esta ley está la exoneración de los aranceles de importación de equipos, maquinarias e insumos destinadas a la pre-inversión y obras de construcción de fuentes de energía renovable hidroeléctricas.



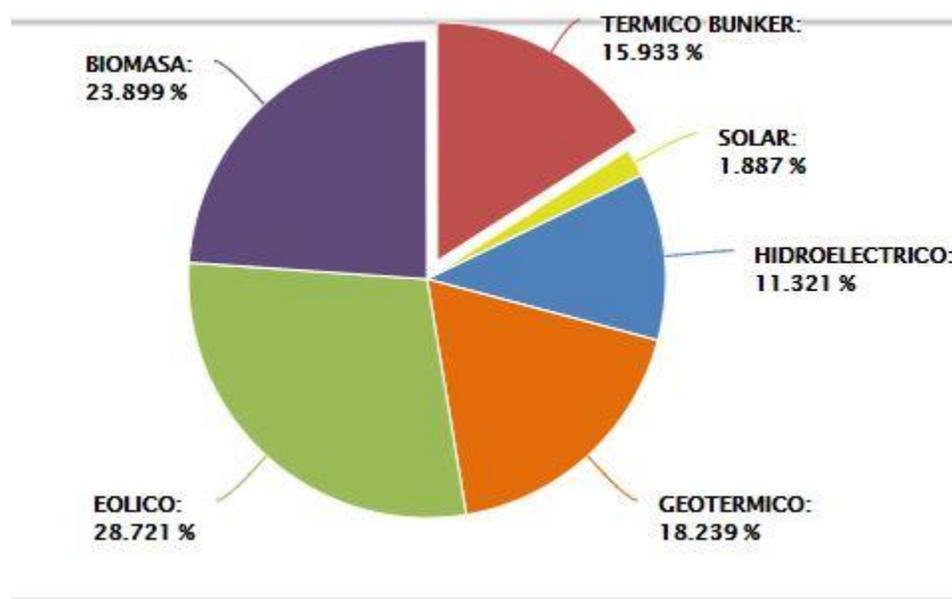
"Evaluación técnico-económica para calcular el costo de venta para la generación de la energía eléctrica de una pequeña central hidroeléctricas(mini-centrales), implementada en Nicaragua "

También está la exoneración de pago del impuesto sobre la renta y del pago mínimo definitivo del IR, la exoneración del pago de los impuestos municipales.

2.2 La matriz energética de Nicaragua.

A partir de 2020, las energías renovables, incluidas la eólica, la solar, los biocombustibles, la geotérmica y la hidroeléctrica, representan cerca del 77 % del suministro total de energía de Nicaragua, y el petróleo proporciona el 23 % restante (OLADE, 2021).

Figura 2 Matriz Energética de Nicaragua



FUENTE: https://www.gem.wiki/w/images/b/bc/Nicaragua_electricity_type.jpg

De acuerdo con cifras del Ministerio de Energía y Minas de Nicaragua, la evolución del índice de cobertura de electrificación nacional, al año 2022, asciende al 99.147%, que corresponde a 1,260,404 viviendas.



"Evaluación técnico-económica para calcular el costo de venta para la generación de la energía eléctrica de una pequeña central hidroeléctricas(mini-centrales), implementada en Nicaragua "

Figura 3 Evolución del índice de cobertura de electrificación



FUENTE: <https://www.mem.gob.ni/wp-content/uploads/2022/05/Evolucion-Abril.jpg>

2.3 Detalle de inversiones en proyectos hidroeléctricos.

Según datos del MEM, las inversiones en proyectos hidroeléctricos se muestran en la siguiente figura.

Tabla 4 Inversiones en proyectos hidroeléctricos

Item	Nombre del Proyecto	Capacidad (MW)	Costo del Proyecto proyectado a septiembre 2018 (US\$)	US\$ / KW	Periodo de Simulación Disponible (*)	
					Inicio	Fin
Proyectos Hidroeléctricos						
1	TUMARÍN	253	1,200,000,000.00	4,743	enero 2030	diciembre 2033
2	PIEDRA FINA	44	206,194,017.09	4,686	enero 2028	diciembre 2033
3	VALENTÍN	24.5	126,578,996.47	5,166	enero 2030	diciembre 2033
4	SALTO Y-Y	26	56,962,762.00	2,191	enero 2028	diciembre 2033
5	PIEDRA CAJÓN (PAJARITOS)	21.7	76,411,909.54	3,521	enero 2029	diciembre 2033
6	BOBOKÉ	44	153,200,000.00	3,482	enero 2028	diciembre 2033
7	MOJOLCA	113	257,301,000.00	2,277	enero 2025	diciembre 2033
8	COPALAR BAJO	130	330,460,000.00	2,542	enero 2026	diciembre 2033
9	EL CARMEN	91	225,000,000.00	2,473	enero 2027	diciembre 2033
10	LA SIRENA	32.5	122,647,009.00	3,774	enero 2030	diciembre 2033
11	EL CONSUELO	21	93,173,943.93	4,437	enero 2030	diciembre 2033
12	LOS CANGILES	27.2	106,367,030.38	3,911	enero 2028	diciembre 2033
13	EL BARRO	36.5	150,885,897.00	4,134	enero 2030	diciembre 2033
14	PIEDRA PUNTUDA	15	36,950,951.00	2,463	enero 2030	diciembre 2033
15	PASO REAL	34	177,000,000.00	5,206	enero 2028	diciembre 2033
16	SAN PEDRO DEL NORTE	94	347,000,000.00	3,691	enero 2027	diciembre 2033
17	PARASKA	51	219,000,000.00	4,294	enero 2029	diciembre 2033
18	MASAPA	36	190,000,000.00	5,278	enero 2029	diciembre 2033
19	LA MORA	1.9	5,452,765.00	2,870	enero 2019	enero 2019
20	SAN MARTIN	5.7	19,367,000.00	3,398	enero 2019	enero 2019

FUENTE: <https://www.mem.gob.ni/wp-content/uploads/2019/05/Plan-de-Expansion-de-la-Generacion-Elctrica-de-2019-2033.pdf>

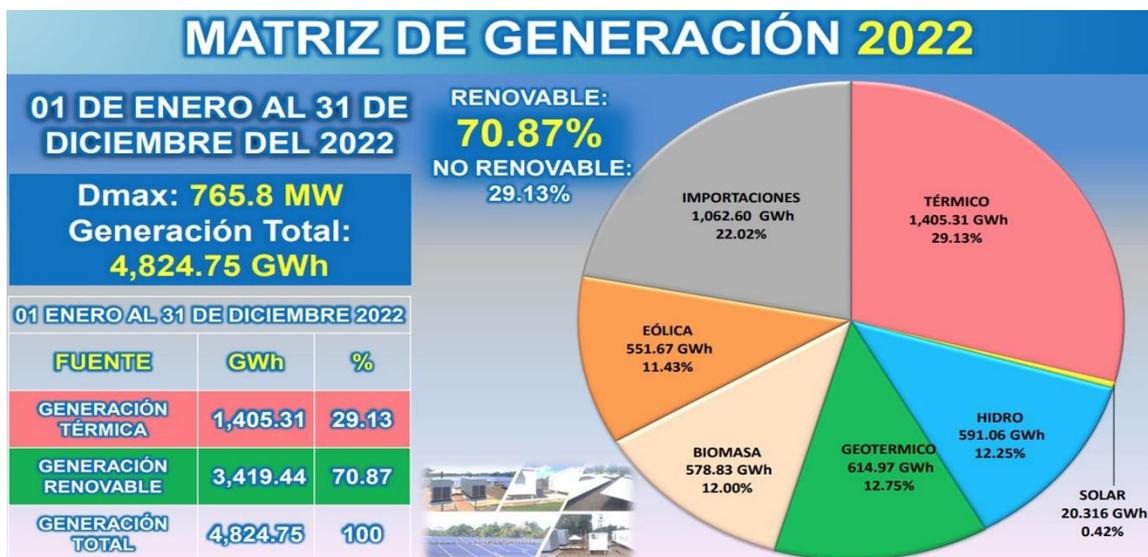


"Evaluación técnico-económica para calcular el costo de venta para la generación de la energía eléctrica de una pequeña central hidroeléctricas(mini-centrales), implementada en Nicaragua "

2.4 Generación de energía por tipo de fuentes primarias.

Conforme cifras estadísticas de la Empresa Nacional de Transmisiones Eléctricas, ENATREL, la generación con fuentes hidroeléctricas, según cifras del año 2022 representó el 12.25% de la generación total, con un valor de 591.06 GWh.

Figura 5 Generación por tipo de fuente



FUENTE: <https://www.enatrel.gob.ni/matriz-de-generacion-2022/>



Capítulo 3.-

Los costos asociados a un proyecto hidroeléctrico y la evaluación técnico-financiera.



3.1 Costos asociados a un proyecto hidroeléctrico.

Los costos de producción asociados a la generación de energía de centrales hidroeléctricas, según su naturaleza, son fijos o variables. El sistema de tarificación eléctrica reconoce esa naturaleza de costos y la incorpora a la estructura de precios.

La generación de energía eléctrica como primera actividad en la cadena de abastecimiento es determinante para el establecimiento del precio de venta a los usuarios finales. Así mismo, los costos de generación constituyen el límite inferior para la fijación o formación de precios en cualquier mercado eficiente y en cualquier actividad económica y financieramente sostenible. Por lo tanto, esta investigación se enfocará en los costos de generación de energía hidroeléctrica como principal fuente de generación.

El costo de venta de la energía de una central hidroeléctrica, depende de los siguientes factores: El costo índice de inversión del proyecto, los costos de operación y mantenimiento, los costos fijo y variables variable y cantidad de energía generada dependiendo del recurso hídrico.

En la tabla siguiente se resumen los costos involucrados en la generación de la energía de una central hidroeléctrica.



"Evaluación técnico-económica para calcular el costo de venta para la generación de la energía eléctrica de una pequeña central hidroeléctricas(mini-centrales), implementada en Nicaragua "

Tabla 6 Costos asociados a la generación hidroeléctrica

COSTOS PRE-OPERATIVOS	COSTOS OPERATIVOS
Estudios e investigaciones: comprende estudios geológicos e hidrológicos para determinar el recurso potencial.	Costos fijos de Administración, operación y mantenimiento.
Costo de terrenos y las servidumbres.	Costos variables de Administración, operación y mantenimiento
Infraestructura: incluye toda la obra civil para acceder a la planta, conexiones, oficinas, campamentos, equipos y demás obras de infraestructura para construir y posterior operación.	Combustible.
Inversiones ambientales: no incluye plan de manejo ambiental, sólo las inversiones iniciales y estudios.	Costos de plan de manejo ambiental y sus contingencias.
Imprevistos: del proceso constructivo y equipos.	Seguro contra riesgos en los diferentes proyectos
Financieros preoperativos: sobrecostos financieros durante la construcción, los demás intereses preoperativos se incluyen en los costos de instalación.	Cargos de ley durante la operación según tipo de planta y región.

Fuente: Propia



3.2 Detalle general de los costos fijos de inversión de un proyecto hidroeléctrico.

Los costos fijos de inversión que involucra un proyecto hidroeléctrico, se dividen en:

1. Costos de Desarrollo
2. Terrenos
3. Camino de acceso
4. Obras civiles
5. Equipos electromecánicos
6. Tuberías de conducción y obras de toma
7. Subestación de transformación
8. Transformadores y equipos de control y medición.
9. Líneas eléctricas de conexión.
10. Infraestructura de edificios y mobiliario
11. Capital de Trabajo

Luego se contemplan los costos variables operativos del proyecto que tienen que ver con los recursos operativos de la empresa, en este caso la central hidroeléctrica, dentro de estos costos tenemos: las reparaciones por avería de líneas y equipos eléctricos, papelería, pagos de salarios, gastos administrativos, etc.

Luego de integrar estos costos se realiza la evaluación de flujo neto del proyecto, para evaluar la rentabilidad de ejecución del proyecto.



3.3 Esquema del modelo de evaluación financiera de un proyecto hidroeléctrico.

La siguiente figura muestra el modelo de evaluación financiera de un proyecto hidroeléctrico (Hurtado, 2016).

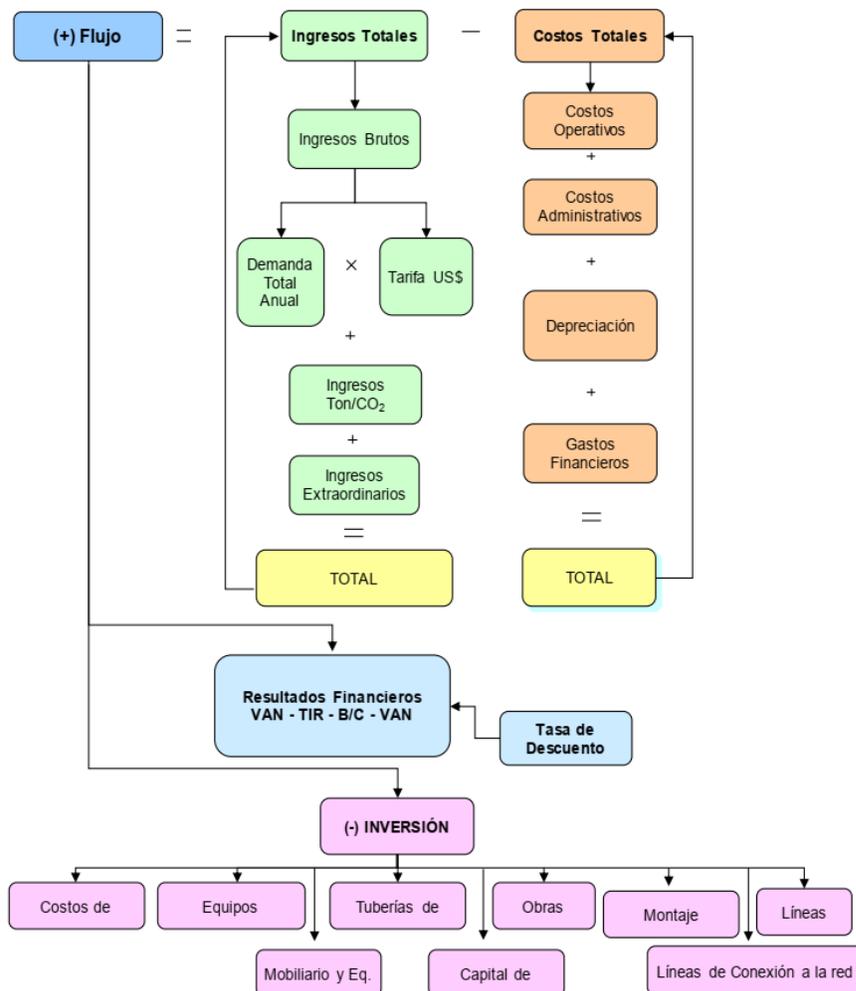


Figura 6 Modelo de Evaluación financiera



3.4 Aspectos técnicos considerados en un proyecto hidroeléctrico.

Los aspectos técnicos considerados en un proyecto hidroeléctrico son aquellos vinculados tanto a la parte de los componentes eléctricos del proyecto, como a las ventas de energía. Entre estos tenemos: los equipos electromecánicos como el generador, la turbina, el equipo de control y regulación de voltaje, las protecciones eléctricas, las líneas eléctricas de transmisión, el estudio de mercado y la demanda de energía eléctrica, etc.

La generación de la potencia eléctrica depende del caudal de la fuente primaria de agua, la demanda de energía y potencia depende de la cantidad de clientes a servir donde se toma en consideración la proyección de la demanda.

En el caso de la disponibilidad del caudal de agua, esta depende de la estacionalidad del año.

Un aspecto que se considera para el cálculo de la potencia se describe mediante la siguiente ecuación:

$$P = QxHxg \times \eta T \quad (7)$$

Donde:

Q: Caudal disponible del agua en m³/seg

H: Es la altura de caída del agua en metros.

g: constante de gravedad = 9.8 m/seg²

ηT : Eficiencia de la turbina.



Capítulo 4.-

Costo nivelado para calcular el costo de venta de la energía de una mini-central hidroeléctrica.



4.1 Costo Nivelado.

El concepto de costo nivelado de la energía, en su forma simple, consiste en calcular el costo promedio total de construir y operar una central eléctrica y dividirlo entre la energía total a ser generada durante su vida útil (BID, 2022).

Cuando se analiza la generación eléctrica se considera tanto la capacidad de generación como la producción de electricidad debido, principalmente, a que la electricidad no se puede almacenar a costos razonables. ello hace que para poder cubrir los requerimientos de la demanda en todo momento se deba tener capacidad instalada que en algunos períodos no es plenamente utilizada. la capacidad de generación se mide normalmente como megavatios (MW) o kilovatios (kW) de potencia, y se emplea tanto para determinar las dimensiones de los generadores eléctricos como también de referencia para establecer la magnitud de los costos fijos (costo de inversión o costo de potencia y costos de mantenimiento fijos), los cuales se suelen expresar en us\$ por MW instalado o en US\$ por MW-año (Perú, 2002).

La producción de electricidad se mide como un flujo producido o la suma de los requerimientos de capacidad a lo largo de un período de tiempo, y se expresa normalmente en megavatios-hora (MWh) o kilovatios-hora (kWh).

Como ya mencionamos en el capítulo No.3, los costos de generar electricidad se dividen en dos partes: el costo fijo, que es el costo asociado a la inversión más los costos de operación y mantenimiento fijos necesarios para mantener la central de generación disponible, produzca o no produzca; y el costo variable, que se refiere al costo de operación y mantenimiento que cambia con la cantidad producida. Para obtener el costo total es necesario expresar ambos costos en us\$/MWh o en. US\$/kWh.



4.2 Cálculo de los costos totales por MWh.

Los costos fijos son los costos que asume la generadora, produzca o no. El costo de inversión representa al monto de inversión que implica la construcción y puesta en marcha de una central de generación, el cual se puede representar por I_i . Dado que cada central de generación tiene una capacidad de generación o potencia determinada (C_i), el costo de inversión se suele expresar en monto de inversión por MW instalado (I_i/C_i) con el fin de tener una medida relativa del costo de inversión por tipo de tecnología. A esta medida relativa del costo de inversión por MW se le denomina overnight cost o costo de capacidad o potencia, cuya conversión a costo por hora requiere de un procedimiento, el cual se presenta a continuación (Perú, 2002).

4.3 Conversión del costo de inversión por capacidad de potencia a un costo por hora.

Para convertir el costo de inversión por capacidad de potencia por MW (CP) a un costo por hora, primero tenemos que amortizar dicho costo mediante pagos anuales(anualidades), para ello se aplica la fórmula financiera de anualidades para un período T y una tasa de descuento Inter temporal r de la siguiente manera

$$CP/Año = \frac{r \times CP}{1 - \left(\frac{1}{(1+r)^T}\right)} \quad (8)$$



"Evaluación técnico-económica para calcular el costo de venta para la generación de la energía eléctrica de una pequeña central hidroeléctricas(mini-centrales), implementada en Nicaragua "

De allí para obtener un costo por hora se debe dividir entre las 8.760 horas del año.

$$CP/MWh = \frac{CP - \text{año}}{8760}$$

(9)

Este es el costo fijo de la hidroeléctrica expresado en dólares por MWh, el cual debe ser afectado por el factor de planta, es decir:

Costo real CP/MWh = CP/MWh / factor de planta.

A este valor debemos agregar los costos nivelados de energía de operación y mantenimiento y los costos nivelados variables.



Capítulo 5.-

Selección de las dos mini-centrales hidroeléctricas y determinación del costo de venta de la energía.



5.1 La selección de las dos mini-centrales hidroeléctricas.

En este capítulo vamos a analizar dos mini-centrales hidroeléctricas de Nicaragua tomadas de la referencia de base de datos del Ministerio de Energía y Minas de Nicaragua, MEM, las cuales se analizaron en términos de sus variables técnico-económicas a fin de determinar el precio de venta de la energía.

En este caso aplicaremos el concepto de costo nivelado, ya referido en el acápite 4.1 de este documento.

Las dos minicentrales que se evaluaron fueron:

- 1. La minicentral hidroeléctrica la Florida, del municipio de Waslala.**
- 2. La minicentral hidroeléctrica del Río Tuma, La Dalia.**

El estudio completo de estos documentos se detalla en el anexo No.1.

5.2 Datos técnico-financiero de la mini-central hidroeléctrica La Florida.

El año de realización de este estudio por el MEM, es el 2008. Este proyecto fue financiado por la Cooperación Suiza para el Desarrollo (COSUDE).

La PCH-La Florida, está ubicada a 15 km. del Municipio Waslala, tiene una cuenca hidrográfica de 20 km² de extensión, cuenta con 60 metros de desnivel bruto y un caudal de diseño de 0.486 m³/seg., lo cual nos permite desarrollar una Pequeña Central Hidroeléctrica de 200 kW capacidad, adecuada para suplir de electricidad a las Comunidades de Kubalí, Zinica y Las Jaguas con un total de 450 casas.

El costo de total de pre e inversión estimado según estudio de prefactibilidad realizado en el año 2002 es de US\$ 1,083,029 dólares, que incluye 18.5 Km. de



"Evaluación técnico-económica para calcular el costo de venta para la generación de la energía eléctrica de una pequeña central hidroeléctricas(mini-centrales), implementada en Nicaragua "

líneas eléctricas para la distribución, equipos electromecánicos, obras civiles y tuberías de conducción.

El proyecto contempla la construcción de una Pequeña Central Hidroeléctrica (PCH) identificada como "La Florida" de 200 kW de capacidad instalada, con sus redes de distribución de media y baja tensión, así como, las acometidas, medidores y una instalación básica interna en más de 450 viviendas de familias beneficiadas.

5.3 Cálculo del costo de venta de la energía de la mini-central hidroeléctrica La Florida.

Basados en los costos de inversión del proyecto y de sus datos técnicos, se calcula el costo de venta de la energía.

Costo de inversión total del proyecto US\$ 1,083,029 dólares

Basados en el siguiente esquema de consumo, se procedió a determinar el consumo de energía:

Tabla 7 Consumo Energía kWh-mes por vivienda

Descripción	Potencia (W)	Cantidad	Total(kW)	Horas de Uso/mes	KWh
Bombillo Led	9	6	0.054	120	6.48
Cargador de celular		1	0.0095	18	0.171
Refrigeradora	150	1	0.15	450	67.5
		Total kW/vivienda	0.214	Total kWh-mes	74.15



"Evaluación técnico-económica para calcular el costo de venta para la generación de la energía eléctrica de una pequeña central hidroeléctricas(mini-centrales), implementada en Nicaragua "

Para un total de:

$$\text{kW total} = 450 \text{ viviendas} \times 0.214 \text{ kW/vivienda} = 96.1 \text{ kW}$$

La capacidad de generación de la minicentral hidroeléctrica, considerando los siguientes factores es:

Costo de inversión total del proyecto US\$ 1,083,029 dólares

Capacidad Instalada = 200 kW.

Costo unitario de inversión US\$/kW = US\$ 1,083,029 dólares/200 kW

Costo unitario de inversión US\$/kW CP = 5,415.15

En este caso consideramos una vida útil de la planta de 40 años.

Y una tasa de interés del 12%, y procedemos a calcular el costo fijo por año como:

$$\text{CP/Año} = \frac{r \times \text{CP}}{1 - \left(\frac{1}{(1+r)^T} \right)}$$

$$\text{CP/Año} = \frac{12\% \times \text{US\$ } 5,415.15}{1 - \left(\frac{1}{(1+12\%)^{40}} \right)} = \text{U\$ } 656.88 \text{ kW/año.}$$

Ahora lo calculamos en términos de la hora año (8760 h) para convertirlo en energía.

$$\text{CP/kWh Año} = \frac{\text{US\$ } 656.88 \text{ kW-año}}{8760 \text{ h}} = 0.07499 \text{ U\$ / kWh}$$

Considerando el factor de planta $f_p = 0.9$



"Evaluación técnico-económica para calcular el costo de venta para la generación de la energía eléctrica de una pequeña central hidroeléctricas(mini-centrales), implementada en Nicaragua "

Tenemos que:

$$\text{CP/kWh Año} = \frac{\text{US\$ } 0.07499 \text{ kWh-año}}{0.9} = 0.08332 \text{ U\$ / kWh}$$

A este costo le vamos a agregar el costo de operación y mantenimiento de la planta, que estimaremos en un 0.02% del costo de inversión, lo cual representa:

$$\text{Costo de O y M U\$} = 0.02\% \ 1,083,029.00 = \text{U\$ } 216.60$$

$$\text{Para un costo nivelado por energía anual} = \frac{\text{US\$ } 216.60 \text{ kW-año}}{8760 \text{ h}}$$

Para un costo nivelado de O y M por energía anual = **0.0247 U\$ / kWh**

Siendo el costo total de venta de la energía = **0.08332 U\$ / kWh + 0.0247 U\$ / kWh**

Siendo el costo total de venta de la energía = 0.10804 U\$ / kWh



"Evaluación técnico-económica para calcular el costo de venta para la generación de la energía eléctrica de una pequeña central hidroeléctricas(mini-centrales), implementada en Nicaragua "

Figura 7 Cálculo del costo Nivelado La Florida

Cálculo del costo de Venta de la Energía U\$/kWh	
Datos	
Nombre de la mini-central:	La Florida
Capacidad Instalada kW	200
Localización:	Waslala
Beneficiarios-casas:	450
Monto de Inversión U\$	\$1,083,029.00
Vida útil del proyecto-años:	40
Tasa de interés	12%
Factor de planta fp:	90%
Cálculos	
Costo Unitario de Inversión CP U\$/kW	\$5,415.15
Costo Unitario Nivelado de Inversión CP _D por kW U\$/kW-año	\$656.88
Costo Unitario Nivelado de Inversión CP _E por kWh U\$/kWh-año	\$0.08332
Costos de Op. y Mantenimiento U\$	\$216.61
Costo Unitario Nivelado de Op. y Mante CP _{E O Y M} por kWh U\$/kWh-año	\$0.02473
Costo Total de venta de la energía kWh, U\$/kWh	\$0.10804

Referencia: Hoja Excel con cálculos propios.



5.4 Datos técnico-financiero de la mini-central hidroeléctrica Río Tuma.

El año de realización de este estudio por el MEM, es el 2016. Este proyecto fue financiado totalmente por el gobierno de Nicaragua. Implementada por el Gobierno de Unidad y Reconciliación Nacional a través de la Empresa Nacional de Transmisión Eléctrica ENATREL, la cual orienta y facilita el desarrollo sustentable del sector energía, para contribuir al desarrollo nacional en un marco de equidad social, crecimiento económico y preservación del medio ambiente.

La PCH-Río Tuma, consiste en un complejo hidroeléctrico dentro de pequeña central hidroeléctrica (600 KW) que aprovecha las aguas del río Tuma, el cual es alimentado por el rio grande de Matagalpa.

Con un caudal de diseño de 1282 m³/seg., lo cual nos permite desarrollar una Pequeña Central Hidroeléctrica de 600 kW capacidad, adecuada para suplir de electricidad a un total de 800 casas.

El costo de total de pre e inversión estimado según estudio de prefactibilidad realizado en el año 2016 es de US\$ 2,332,304.00 dólares.

5.5 Cálculo del costo de venta de la energía de la mini-central hidroeléctrica Río Tuma.

Basados en los costos de inversión del proyecto y de sus datos técnicos, se calcula el costo de venta de la energía.

Costo de inversión total del proyecto US\$ 2,332,304.00 dólares

Basados en el siguiente esquema de consumo, se procedió a determinar el consumo de energía:



"Evaluación técnico-económica para calcular el costo de venta para la generación de la energía eléctrica de una pequeña central hidroeléctricas(mini-centrales), implementada en Nicaragua "

Tabla 8 Consumo Energía kWh-mes por vivienda

Descripción	Potencia (W)	Cantidad	Total(kW)	Horas de Uso/mes	KWh
Bombillo Led	9	6	0.054	120	6.48
Cargador de celular		1	0.0095	18	0.171
Refrigeradora	150	1	0.15	450	67.5
		Total kW/vivienda	0.214	Total kWh-mes	74.15

Para un total de;

$$\text{kW total} = 800 \text{ viviendas} \times 0.214 \text{ kW/vivienda} = 170.8 \text{ kW}$$

La capacidad de generación de la minicentral hidroeléctrica, considerando los siguientes factores es:

Costo de inversión total del proyecto US\$ 2,332,304.00 dólares

Capacidad Instalada = 600 kW.

Costo unitario de inversión US\$/kW = US\$ 2,332,304.00 dólares/600 kW

Costo unitario de inversión US\$/kW CP = 3,887.17

En este caso consideramos una vida útil de la planta de 40 años.

Y una tasa de interés del 12%, y procedemos a calcular el costo fijo por año como:

$$\text{CP/Año} = \frac{r \times \text{CP}}{1 - \left(\frac{1}{(1+r)^T} \right)}$$

$$\text{CP/Año} = \frac{12\% \times \text{US\$ } 3,887.17}{1 - \left(\frac{1}{(1+12\%)^{40}} \right)} = \text{U\$ } 471.53 \text{ kW/año.}$$



"Evaluación técnico-económica para calcular el costo de venta para la generación de la energía eléctrica de una pequeña central hidroeléctricas(mini-centrales), implementada en Nicaragua "

Ahora lo calculamos en términos de la hora año (8760 h) para convertirlo en energía.

$$\text{CP/kWh Año} = \frac{\text{US\$ } 471.53 \text{ kW-año}}{8760 \text{ h}} = 0.05981 \text{ U\$ / kWh}$$

A este costo le vamos a agregar el costo de operación y mantenimiento de la planta, que estimaremos en un 0.02% del costo de inversión, lo cual representa:

$$\text{Costo de O y M U\$} = 0.02\% \text{ } 2,332,304.00 = \text{U\$ } 466.46$$

$$\text{Para un costo nivelado por energía anual} = \frac{\text{US\$ } 466.46 \text{ kW-año}}{8760 \text{ h}}$$

$$\text{Para un costo nivelado de O y M por energía anual} = 0.05325 \text{ U\$ / kWh}$$

Siendo el costo total de venta de la energía = **0.05981 U\$ / kWh + 0.05325 U\$ / kWh**

Siendo el costo total de venta de la energía= 0.11306 U\$ / kWh



"Evaluación técnico-económica para calcular el costo de venta para la generación de la energía eléctrica de una pequeña central hidroeléctricas(mini-centrales), implementada en Nicaragua "

Figura 8 Cálculo del costo nivelado Río Tuma

Cálculo del costo de Venta de la Energía U\$/kWh	
Datos	
Nombre de la mini-central:	Río Tuma
Capacidad Instalada kW	600
Localización:	Matagalpa
Beneficiarios-casas:	600
Monto de Inversión U\$	\$2,332,304.00
Vida útil del proyecto-años:	40
Tasa de interés	12%
Factor de planta fp:	90%
Cálculos	
Costo Unitario de Inversión CP U\$/kW	\$3,887.17
Costo Unitario Nivelado de Inversión CP _D por kW U\$/kW-año	\$471.53
Costo Unitario Nivelado de Inversión CP _E por kWh U\$/kWh-año	\$0.05981
Costos de Op. y Mantenimiento U\$	\$466.46
Costo Unitario Nivelado de Op. y Mante CP _{E O y M} por kWh U\$/kWh-año	\$0.05325
Costo Total de venta de la energía kWh, U\$/kWh	\$0.11306

Referencia: Hoja Excel con cálculos propios



Capítulo 6.-

Resultados obtenidos de la investigación, para el establecimiento del costo de venta de la energía de una mini-central hidroeléctrica.



6.1 Resultados de la investigación.

En este capítulo resumimos todos los resultados obtenidos en esta investigación, así como los resultados de la evaluación técnico-financiera para el cálculo del costo de venta de la energía para una minicentral hidroeléctrica.

Los resultados se resumen a continuación:

1. Para el cálculo del costo de venta de la energía de una mini-central diseño, hidroeléctrica se requieren conocer dos aspectos fundamentales como son los costos de inversión del proyecto y sus costos de operación y mantenimiento, así como la capacidad técnica instalada de la planta.
2. Se deben evaluar los costos de inversión y de operación de la mini-central hidroeléctrica, aplicando el concepto de costo nivelado para calcular el costo de venta de la energía.
3. Es necesario aplicar la teoría económica-financiera bajo la fórmula de la anualidad para determinar los costos nivelados a largo de la vida útil de la mini-central, considerando además la tasa de descuento aplicable a este tipo de proyectos en Nicaragua.
4. El cálculo del costo de venta de la energía de una central hidroeléctrica es importante para determinar su costo referencial de venta a los usuarios finales.
5. Si se utiliza el método de diseño propuesto en esta investigación, para el cálculo del costo de venta de la energía para una mini-central hidroeléctrica, se garantizará la optimización del precio final de venta de la energía a los consumidores finales.



Conclusiones y Recomendaciones.

Conclusiones

- Que la finalidad de este proyecto de titulación, para establecer un forma rápida y sencilla para calcular el costo de venta de la energía para una mini-central hidroeléctrica, basado en los parámetros técnicos-económicos propios de la central, de tal manera que permita la optimización del costo a ofertar a los consumidores finales del uso de la energía eléctrica.
- El precio básico para la venta de la energía para cada mini-central hidroeléctrica se determinó a partir de los costos de inversión para cada proyecto y de capacidad de potencia instalada, aplicando la metodología del costo nivelado y la anualidad financiera, tomado como referencia una tasa de descuento del 12% y una vida útil del proyecto de 40 años.
- Que se establecen parámetros y criterios técnicos-económicos necesarios para el cálculo del costo de venta de la energía, sobre la base de los principios técnicos de ingeniería y la evaluación financiera ´para cada proyecto en particular.
- Como el objeto de esta investigación era el determinar los ingresos por venta de energía, que se aplica en el sistema tarifario a los usuarios finales, ya que son trasladados a estos, por tal razón este precio debe ser correctamente calculado, es decir optimizado para no trasladar cobros ineficientes, que deterioren la economía de los usuarios.



"Evaluación técnico-económica para calcular el costo de venta para la generación de la energía eléctrica de una pequeña central hidroeléctricas(mini-centrales), implementada en Nicaragua "

- Se concluye que de manera efectiva los cálculos realizados, el costo de venta de referencia de la energía para las dos mini-centrales hidroeléctricas se encuentra dentro del precio establecido entre los \$ 10 centavos de dólares y los \$ 11 centavos de dólares.



Recomendaciones

Recomendamos:

- Establecer como base de cálculo para el precio de venta de la energía eléctrica de una mini-central hidroeléctrica, la metodología expuesta en el presente documento.
- Dar a conocer los resultados de esta investigación a fin de recomendar su inclusión en un anexo técnico de las normativas para fuentes de energía renovables hidráulicas, y su establecimiento del precio de venta de la energía, para la entidad del Ministerio de Energías y Minas de Nicaragua, MEM.



"Evaluación técnico-económica para calcular el costo de venta para la generación de la energía eléctrica de una pequeña central hidroeléctricas(mini-centrales), implementada en Nicaragua "

Bibliografía

- Banco central de Nicaragua. (Mayo de 2021). *www.bcn.gob.ni*. Obtenido de https://www.bcn.gob.ni/estadisticas/monetario_financiero/financiero/tasas_interes/particulares/tasa_particulares_vigente.pdf
- BID. (2022). Obtenido de <https://www.idbinvest.org/es/blog/energia/como-calculas-cuanto-cuesta-generar-la-energia-electrica>
- CEPAL. (2003). *CEPAL*. Obtenido de https://coin.fao.org/coin-static/cms/media/5/12820625348650/fao_nic_recursohidricos_cepai.pdf
- Científicos, T. (2023). Obtenido de <https://www.textoscientificos.com/energia/centrales-electricas/caracteristicas>
- DeIngenierías. (2022). Obtenido de <https://deingenierias.com/hidroelectricas/partes-de-una-central-hidroelectrica/>
- Diccionario Oxford. (s.f.). *lexico.com*. Obtenido de <https://www.lexico.com/es/definicion/metodo>
- ENDESA. (2021). Obtenido de <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educacion/recursos/centrales-renovables/central-hidroelectrica>
- Facultad de Ingeniería, Univ. de Buenos Aires. (s.f.). *materias.fi.uba.ar*. Obtenido de <http://materias.fi.uba.ar/6509/Sistemas%20electromec%20nicos%2026-03-07.pdf>
- Fernández, L. M., Bullón, S. G., & Quirós, C. B. (2000). Ingeniería de control. Modelado, análisis y control de sistemas. Ariel.
- Hernandez Sampieri, R. (s.f.). *Metodologia de la Investigacion* (6ta Edición ed.). Mc Graw Hill.
- Hubspot. (2022). Obtenido de <https://blog.hubspot.es/sales/costos-fijos#:~:text=Los%20costos%20fijos%20son%20los,su%20n%C3%BAmero%20de%20ventas%20alcanzadas.>
- Hurtado, J. (2016). *“FORMULACION Y EVALUACION DE UNA PEQUEÑA CENTRAL EL RIO TUMA.*
- Ingeniería-UNAM, F. d. (2018). *www.redalyc.org*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/jatsRepo/404/40458316005/html/index.html>
- MEM, M. d. (s.f.). Obtenido de https://www.mem.gob.ni/?page_id=1341
- OLADE. (2021). *Panorama Energético de América Latina y del Caribe 2021*. Obtenido de <https://www.olade.org/publicaciones/panorama-energetico-de-america-latina-y-el-caribe-2021/>
- Perú, U. d. (2002). Obtenido de <http://files.pucp.edu.pe/departamento/economia/LDE-2008-02-06.pdf>



"Evaluación técnico-económica para calcular el costo de venta para la generación de la energía eléctrica de una pequeña central hidroeléctricas(mini-centrales), implementada en Nicaragua "

POWER, E. G. (2023). *ENEL*. Obtenido de <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-hidroelectrica/central-hidroelectrica>

Presidente de la Republica de Nicaragua. (Junio de 2003). <http://www.oas.org/>. Obtenido de http://www.oas.org/juridico/spanish/mesicic3_nic_regl_ley_equi_fiscal.pdf

Universidad Mar de la Plata, A. (s.f.). Obtenido de <http://dea.unsj.edu.ar/control1b/teoria/unidad1y2.pdf>